

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 54-072653
(43)Date of publication of application : 11.06.1979

(51)Int.CI. H01Q 3/26

(21)Application number : 52-140203 (71)Applicant : TOSHIBA CORP
(22)Date of filing : 22.11.1977 (72)Inventor : MOROOKA TASUKU

(54) ADAPTIVE ANTENNA

(57)Abstract:

PURPOSE: To stably and quickly obtain the directivity producing the main beam toward incoming of desired signal, by varying the amplitude of the error signal inputted to the control section inversely proportional with the amplitude of the power output of each antenna element.

CONSTITUTION: The variable coefficient unit 17 is inserted in the path of the error signal $\epsilon(t)$ from the output of the subtractor 13 to the control section 14, the output $\epsilon(t) = 2K_s \epsilon(t)$ is inputted to the control section 14 and the detectors 181 to 18n detecting each output of the antenna elements 11l to 11n are provided so that the coefficient $2K_s$ of the coefficient unit 17 can be inversely proportional to the synthesized output. Accordingly, the convergence of the amplitude and phase given with the weighting circuits 12l to 12n is made stably and quickly without causing oscillation.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑩日本国特許庁(JP)

⑪特許出願公開

⑫公開特許公報(A)

昭54-72653

⑬Int. Cl.²
H 01 Q 3/26

識別記号 ⑭日本分類
98(3) D 12

厅内整理番号 ⑮公開 昭和54年(1979)6月11日
7530-5 J

発明の数 1
審査請求 未請求

(全 6 頁)

⑯アダプティブアンテナ

⑰特 願 昭52-140203

⑯出願人 東京芝浦電気株式会社

⑰出 願 昭52(1977)11月22日

川崎市幸区堀川町72番地

⑰發明者 諸岡翼

⑰代理 人 弁理士 鈴江武彦 外2名

川崎市幸区小向東芝町1番地

東京芝浦電気株式会社総合研究所内

明細書

1. 発明の名称

アダプティブアンテナ

2. 発明請求の範囲

アレイアンテナを構成する複数個のアンテナ要素の出力を振幅および位相の重みを付けて後合成してアンテナ出力として取出すと共に、上記合成した信号と受信すべき信号に対応する基準信号とを比較し、その誤信号である誤差信号を入力とするコントロール部により上記各アンテナ要素の出力に与えられる振幅および位相の重みを制御するようにしたアダプティブアンテナにおいて、上記コントロール部に入力される誤差信号の大きさを前記各アンテナ要素の出力電力の大きさにほぼ反比例させて変化させることとしたことを特徴とするアダプティブアンテナ。

3. 発明の詳細な説明

この発明はアレイアンテナ、特に不要波の到来方向に零点ができるように指向性が変化する

アダプティブアンテナに関するもの。

所望信号以外の不要波(雑音も含む)が存在する空間環境中にアレイアンテナが備かれているとき、不要波を受信しないようにアレイアンテナの指向性を変化させて不要波の到来方向に自動的に零点(Null)をつくる受信アンテナを Null Beam forming アンテナまたは広義の意味でアダプティブアンテナと呼んでいる。

第1図はアダプティブアンテナの基本的な構成を示したもので、アレイアンテナを構成するアンテナ要素 $1, 1_1 \sim 1_n$ の出力 $x_1 \sim x_n$ について重み付け回路 $1, 2_1 \sim 1, 2_n$ により振幅および位相の重み $w_1 \sim w_n$ を付けて後加算器 $1, 3$ で合成する。重み付け回路 $1, 2_1 \sim 1, 2_n$ は例えば可変利得増幅器などの振幅制御手段および可変移相器などの位相制御手段からなる。重み付け回路 $1, 2_1 \sim 1, 2_n$ で各アンテナ要素 $1, 1_1 \sim 1_n$ の出力 $x_1 \sim x_n$ に付けられる振幅および位相の重み $w_1 \sim w_n$ は、コントロール部 $1, 4$ によつてコントロールされる。このコント

ロールは一定のアルゴリズムに従つて、各アンテナ素子 $1, 1_1, \dots, 1_n$ の出力 x_1, \dots, x_n や加算器 $1, 3$ の合成出力を評価しながらフィードバックループを用いて行なわれ、これによつて指向性が変化する。この結果、第2図のように、所望信号の到来方向には指向性パターンの主ビームが向けられ、不要波の到来方向には零点が作られる。なお第1図において加算器 $1, 3$ の出力がアンテナ出力となる。

上記のようを基本構成からなるアダプティブアンテナでは、フィードバックループの構成法に関して種々の手法が考えられているが、この発明が対象とするのは特に基準信号を用いたいわゆるLMSアルゴリズムによるアダプティブアンテナである。この方式によるアダプティブアンテナの基本構成を第3図に示す。すなわち加算器 $1, 3$ の合成出力と基準信号とを引算器 $1, 5$ で比較し、これにより得られた差信号（誤差信号）をコントロール部 $1, 4$ に入力する。

第4図は第3図中の1つのアンテナ素子に対

応する部分を抜出して詳細に示したものである。第4図において、1番目のアンテナ素子 $1, 1_1$ ($i = 1, 2, \dots, n$) の出力を $x_i(t)$ とし、 $x_i(t)$ は所望信号と不要波の両方を含むものとする。この信号 x_i は重み付け回路 $1, 2_1$ で振幅および位相について重み w_i が付けられて $w_i x_i(t)$ なる信号となる。そして加算器 $1, 3$ で同様に重み付け回路を経由した各アンテナ素子の出力の総和 $\sum w_i x_i(t)$ がとられた後、引算器 $1, 5$ で基準信号 $R(t)$ との差がとられる。この差信号 $e(t) = R(t) - \sum w_i x_i(t)$ を誤差信号という。この誤差信号 $e(t)$ は係数器 $1, 6$ で適当な係数 $2k_s$ を乗じられて $e(t) = 2k_s e(t)$ となつた後、コントロール部 $1, 4$ 内の相關器 $1, 1_1$ に入力されて信号 x_i との相關がとられる。ここで基準信号 $R(t)$ を例えれば所望信号の搬送波に相当した信号としておけば、誤差信号 $e(t)$ 中には不要波と所望信号の一部とが含まれている。従つてこのとき不要波と所望信号との間に相關がなく、かつ不要波が比較的大きいとすれば、相關器 $1, 1_1$ の出力は信号 $x_i(t)$ 中の

不要波と誤差信号 $e(t)$ 中の不要波との相關出力が大きくなる。コントロール部 $1, 4$ では相關器 $1, 1_1$ の出力を積分器 $1, 2_2$ により平均化して重み付け回路 $1, 2_1$ に供給することにより、信号 x_i に与えられる振幅および位相の重み w_i をコントロールする。

このループは相關器 $1, 1_1$ の出力中の $e^2(t)$ の時間平均を最小にするように動らくことから、LMSループと呼ばれている。このループによる重み w_i のコントロールは次式で示される。

$$w_i(t) = w_i(0) - 2k_s \int x_i(t) e(t) dt \quad \dots \quad (1)$$

ここで k_s は収束係数と呼ばれるもので、 $w_i(t)$ を収束させるための係数であり、この k_s の選び方によつて収束性は異なる。これを2次元のアンテナについて検討してみる。第5図はこの検討のために用いたアダプティブアンテナであり、無指向性の2つのアンテナ素子 $1, 1_1, 1, 1_2$ を半波長の間隔で置き、さらに各アンテナ素子 $1, 1_1, 1, 1_2$ の出力は複素重み実現のため0と $\pi/2$ の2つのチャネルに分け、それぞれの

チャネルに重み付け回路 $1, 2_1, 1, 2_2$ を挿入している。そして所望信号および基準信号 $R(t)$ をそれぞれ w_1, t 、不要波を w_2, t ($i = 1, 0, 1, 2$) とし、所望信号はアンテナ素子 $1, 1_1, 1, 1_2$ の正面方向から到來し、不要波は正面方向より 30° 離れた方向から所望信号に比べて 30 dB 高いレベルで入射したとする。また信号はすべて連続波(CW)とする。

第6図は第5図における重み付け回路 $1, 2_1$ により与えられる振幅および位相の重み w_i を前記(1)式を使って繰返し求めたもので、横軸は繰返し回数(これは収束時間に相当する)、縦軸は w_i の値で k_s をパラメータとしている。

第6図から判るように、収束係数 k_s の値によつて重み w_i の収束性は著しく異なる。すなわち k_s が小さすぎると、 w_i の収束時間が長くなり、 k_s が大きすぎると w_i は振動した後収束することになる。このアンテナは w_i が収束したとき、所望信号の到来方向に主ビームを作り、

不要波の到来方向に零点を作るものであるから、 w_i の収束性は安定かつ速やかである方が好ましいことはいうまでもない。これは勿論 w_i のみならず、全ての重み付け回路で与えられる振幅および位相の重みの収束性についても同様にいえることである。

この発明は上記した点に鑑みてなされたもので、その目的は所望信号の到来方向に主ビームを作り、不要波の到来方向に零点を作るような指向性を安定かつ速やかに得ることができるアダプティブアレイアンテナを提供するにある。

本発明者らは前述した LMS アルゴリズムによるアダプティブアンテナにおいて、各アンテナ素子 i_1, \dots, i_n の出力に与えられる振幅および位相の重みをコントロール部 14 によって制御する際の収束性は、コントロール部 14 に入力される誤差信号の大きさをアンテナ素子 i_1, \dots, i_n の出力電力の大きさに比例反比例させて変化させることで、最も良好になることを見出した。この理由は次の通りである。

(1) 式 $E(w(j+1)) = E(w(j)) - 2k_s E\{(\theta(j)-w^T(j))x(j)x(j)\}$ は全体のアレイに対し次のように表現することもできる。

$$E(w(j+1)) = E(w(j)) - 2k_s E\{(\theta(j)-w^T(j))x(j)x(j)\} \quad (2)$$

$$\text{ここで } w(j+1) = \begin{bmatrix} w_1(j+1) \\ w_2(j+1) \\ \vdots \\ w_n(j+1) \end{bmatrix}, \quad x(j) = \begin{bmatrix} x_1(j) \\ x_2(j) \\ \vdots \\ x_n(j) \end{bmatrix}$$

(T は転置を示す、 E は期待値)

この式は次のように変形できる。

$$= [I + 2k_s \theta(x, x)]^{j+1} w_0 - 2k_s \sum_{l=0}^j [I + 2k_s \theta(x, x)]^l \theta(x, R) \quad (3)$$

この式を適当なマトリックス Q を使い変換して、対角化する。

$$\theta(x, x) = Q^{-1} E Q \quad (4)$$

$$\text{ここで } E = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \theta_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & \theta_p & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & \theta_N \end{bmatrix}, \quad I : \text{ユニタリ行列} \\ \theta_p \text{ はのの固有値}$$

これから(3)式は、

$$E(w(j+1)) = Q^{-1} [I + 2k_s \theta]^{j+1} Q w_0 - 2k_s Q^{-1} \sum_{l=0}^j [I + 2k_s \theta]^l Q \theta(x, d) \quad (5)$$

(5)式の第1項は必ず対角要素が 1 より小であるから λ が十分大きいときは

$$\lim_{j \rightarrow \infty} [I + 2k_s \theta]^{j+1} \rightarrow 0$$

第2項は $\sum_{l=0}^j [I + 2k_s \theta]^l$ が収束すれば良い。これは $[I + 2k_s \theta]$ に注目すれば

$$|I + 2k_s \theta_{\max}| < 1 \text{ 又は } \frac{-1}{\theta_{\max}} < k_s < 0$$

のとき収束する。 θ_{\max} はのの固有値の最大値である)

ところで $\theta_{\max} \leq \text{trace}[\theta(x, x)]$ であるから、

$$\text{trace}[\theta(x, x)] = \sum_{i=1}^n E[x_i^2] = \text{全入力電力}$$

即ち(2)式が収束する k_s の条件は

$$\frac{-1}{\sum_{i=1}^n E[x_i^2]} < k_s < 0$$

これは k_s がアンテナ素子の出力電力に反比例して

いることを示している。

以下実施例によりこの発明を詳細に説明する。

第7図はこの発明の一実施例を示す図で、引算器 15 の出力からコントロール部 14 に到る誤差信号 $e(t)$ の経路中に可変係数器 17 を挿入し、その出力 $e(t) = 2k_s e(t)$ をコントロール部 14 に入力するようになると共に、アンテナ素子 i_1, \dots, i_n の各出力電力を検出する検出器 $18_1, \dots, 18_n$ を設け、この各検出器 $18_1, \dots, 18_n$ の合成出力を応じて上記可変係数器 17 における係数 $2k_s$ を例えば比例反比例する形で制御するようになしたものである。

第8図は第7図のアダプティブアンテナの1つのアンテナ素子 i_1 に対応する部分を具体的に示したもので、 i_1 はアンテナ素子 i_1 出力を増幅する RP 増幅器であり、この増幅器 19_1 の出力をクリスタル検波器よりなる検出器 18_1 に通してその出力電力を検出する。なお可変係数器 17 としては電子的にその係数(減衰値または利得)を可変し得るもの、例えばダイオード

ド減衰器や可変利得増幅器が用いられる。また制御部14の内部構成は第4図中に示した通りである。

どのように構成されたアダプティブアンテナにおける各アンテナ要素の出力に与えられる振幅および位相の重みの収束性を、第5図と同様に2素子の場合について検討してみる。第9図はアンテナ要素の入力のうち所望信号の振幅 A_s を1とし、不要波の振幅 A_n を複々変えたときの重み w_i の収束性を示したものであるが、検出器の出力に応じて、つまり不要波の振幅に応じて可変係数 κ の係数、すなわち減衰比 $k = k_s / k_{s_0}$ (但し k_{s_0} は基準減衰量)を約20dB程度の範囲で変えることによって、安定かつ速い収束が行なわれることが判る。

以上のように、この発明によればコントロール部14に入力される誤差信号の大きさをアンテナ要素 $11_1 \sim 11_n$ の出力電力の大きさにはほぼ反比例させて変化させるようにしたことにより、重み付け回路 $12_1 \sim 12_n$ で与えられる振

幅および位相の収束を、振動などを生じることなく安定かつ涼やかに行なわせることができる。従つて所望信号の到来方向に主ビームを作り、不要波の到来方向に零点を作りようの指向性を安定かつ涼やかに得ることができる。

なお、第7図、第8図は指向性制御部を受信波の周波数帯に設けた例であるが、第10図に示すように中間周波数(I.F.)帯に設けてもよい。第10図において 20_1 はミキサ、 21_1 はI.F.増幅器である。

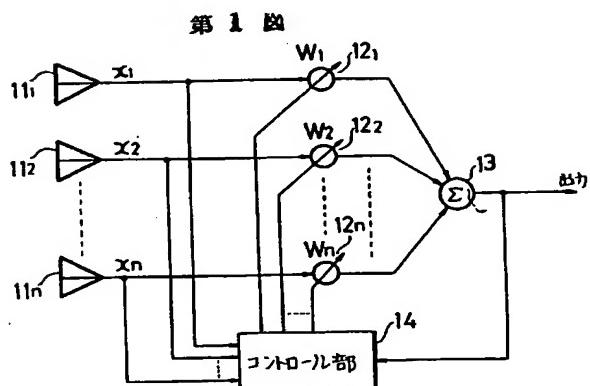
4. 指向性の簡単な説明

卓1図はアダプティブアンテナの基本的な構成を示す図、第2図はアダプティブアンテナにより得られる指向性パターンの一例を示す図、第3図はLMSアルゴリズムによるアダプティブアンテナの基本的な構成を示す図、第4図は第3図の一部分を詳細に示す図、第5図は第3図のアダプティブアレイアンテナにおける振幅および位相の重みの収束性を調べるために用いた2素子アダプティブアンテナを示す図、第6図

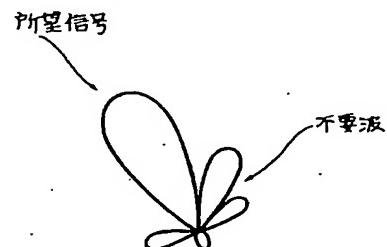
は上記収束性を示す図、第7図はこの発明の基本的な一実施例を示す図、第8図はこの発明のより具体的な実施例の一部の構成のみ示す図、第9図はこの発明に係るアダプティブアンテナにおける収束性を示す図、第10図はこの発明の他の実施例の一部の構成のみ示す図である。

$11_1 \sim 11_n$ 、 $12_1 \sim 12_n$ …アンテナ要素、 $12_1 \sim 12_n$ 、 $12_1 \sim 12_n$ …重み付け回路、 13 …加算器、 14 …コントロール部、 15 …引算器、 16 …除数器、 17 …可変係数器、 18 …検出器、 14_1 …相関器、 14_2 …積分器。

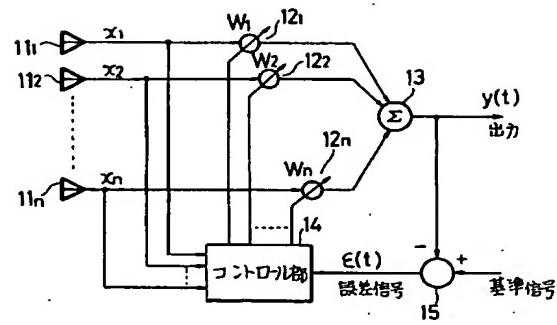
出願人代理人 井理士 鈴江武志



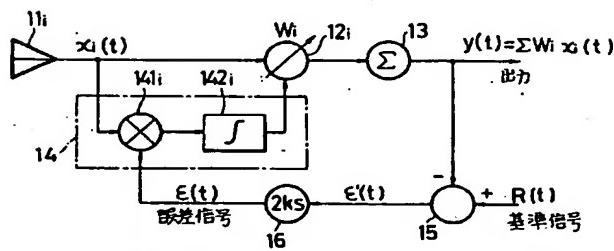
第2図



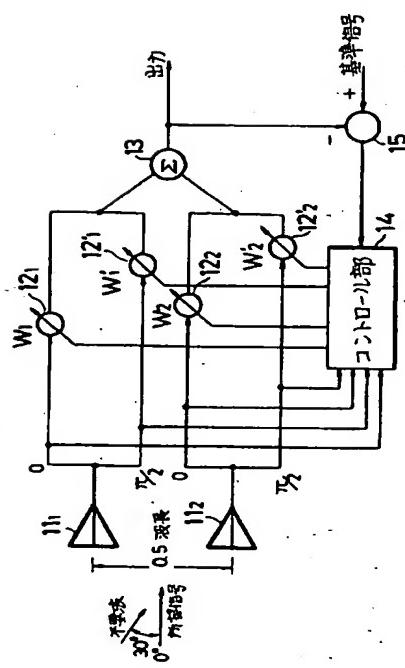
第3図



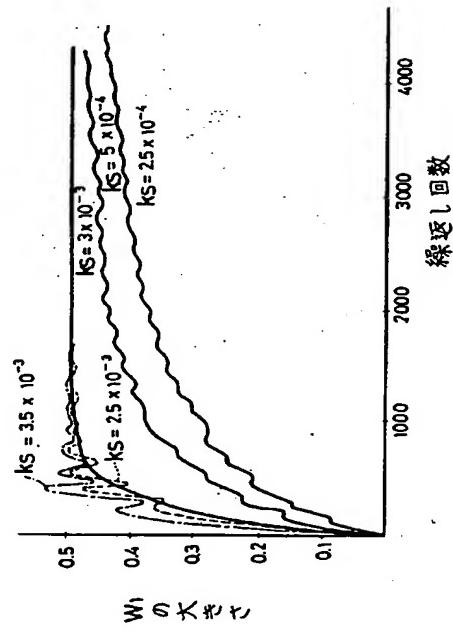
第4図



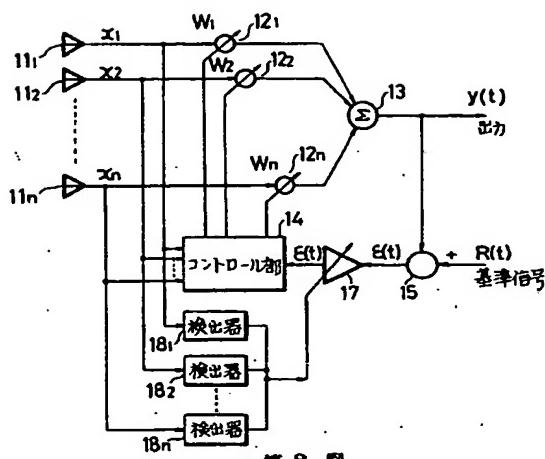
第5図



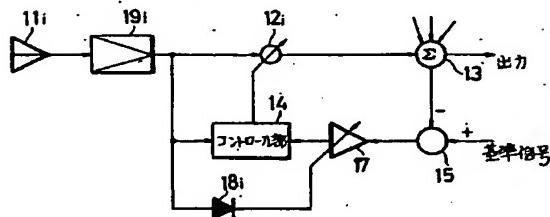
第6図



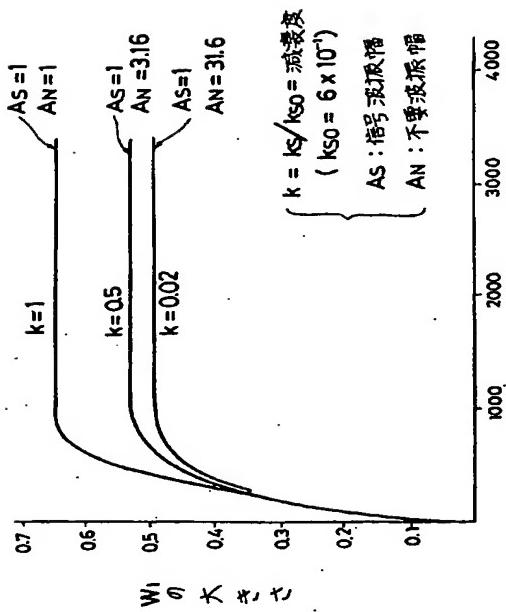
第7図



第8図



第9図



第10図

